

Freiraummodell für Seilrutschen geringer Länge

Von Dieter Stopper, www.siska.at, www.alpingutachten.de

31.01.2020, ergänzt am 28.01.2021, ergänzt am 18.11.2021

Fragestellung:

Gleitet ein Teilnehmer auf einer Seilrutsche unter Einfluss der Schwerkraft in abfallender Richtung, kann er nicht nur in Fahrtrichtung, sondern auch nach links und rechts Raum einnehmen (Freiraum). Die Frage ist nun, wie groß der freie Raum nach links und rechts um die Seilrutsche zu konzipieren ist, so dass der Teilnehmer beim Einnehmen seines Freiraumes nicht mit weiteren Gegenständen – z. B. Bäumen - kollidiert. Das unten angeführte Modell für die Abschätzung des Freiraumes ist aktuelle für Seilrutschen bis zu einer lichten Weite von ca. 100 Meter gedacht.

Physikalische Betrachtung:

Falls der Teilnehmer mit seinem Körperschwerpunkt (KSP) lotrecht unter dem Tragseil losfährt, passiv fährt und sonst keine Schwingungen des Drahtseiles nach links und rechts – z. B. durch Wind – vorliegen, ist der Freiraum durch das Ausstrecken der Extremitäten des Teilnehmers nach links und rechts begrenzt. Der Freiraum muss also eine Minimalbreite von 1 m nach links und rechts umfassen! Falls der Teilnehmer allerdings mit seinem Schwerpunkt seitlich vom Tragseil startet, initiiert er über sein Verbindungsmittel eine Schaukelbewegung während der Fahrt nach links und rechts. Die Ausschläge der Schaukelbewegung nach links und rechts vergrößern sich mit zunehmendem Durchhang der Seilrutsche und nehmen mit der Reduzierung des Durchhanges auch wieder ab.

Einflussgrößen auf den eingenommenen Freiraum nach links und rechts:

a) Verbindungsmittel und Position des TN relativ zum Drahtseil

Um den notwendigen Freiraum nach links und rechts am Beginn der Seilrutsche abzuschätzen, muss die Länge des Verbindungsmittels vom Anschlagpunkt des Gurtes bis zum Drahtseil bekannt sein. Zudem muss der Abstand vom Anschlagpunkt des Gurtes bis zum Boden im Stand bekannt sein. Weiterhin muss der Winkel bekannt sein, welcher das Verbindungsmittels gegen die Lotrechte einnimmt.

Folgende Größen müssen bekannt sein:

- Länge des Verbindungsmittels vom Anschlagpunkt des TN bis zum Drahtseil: AD
- Abstand vom Anschlagpunkt des Gurtes bis zum Boden im Stand: AF
- Winkel des Verbindungsmittels gegen die Lotrechte: β

Hier raus ergibt sich der minimal benötigte Freiraum nach links und rechts: z (AD, AF, β)

b) Durchhang der Seilrutsche in ihrem Verlauf

Die vom Teilnehmer am Beginn der Seilrutsche initiierte Schaukelbewegung nach links und rechts führt mit der Zunahme des Durchhanges des Drahtseiles zu einer Vergrößerung der Ausschläge nach links und rechts. Grundlage für eine Abschätzung des Freiraums welcher der Teilnehmer einnimmt ist ergo, dass der sich ändernde Durchhang beim Befahren der Seilrutsche bekannt ist.

Folgende Größen müssen bekannt sein:

- Lichte Weite der Seilrutsche von Anschlagpunkt zu Anschlagpunkt: s_{\max}
- Maximaler Durchhang der Seilrutsche gegenüber der Geraden, welche durch die Anschlagpunkte der Seilrutsche führt, unter Einfluss der Gewichtskraft auf halber Länge der Seilrutsche: y_{\max}
- Abstand des Teilnehmers vom Startpunkt der Seilrutsche: s

Hier raus ergibt sich Durchhang der Seilrutsche in Abhängigkeit vom s : $y(s)$

Berechnungen:

Zunächst sind die Ausschläge des Teilnehmers nach links und rechts am Beginn der Seilrutsche ($s = 0$) zu berechnen. Der Teilnehmer schaukelt mit dem Drahtseil als Aufhängepunkt mittels seines Verbindungsmittels. Äußerster Punkt beim Schaukeln sind seine Fußspitzen. Der benötigte Freiraum nach links und rechts berechnet sich dann wie folgt:

$$z(AD, AF, \beta) = (AD + AF) \cdot \sin \beta$$

Unter der Annahme, dass die Höhendifferenz vom Start- zum Zielpunkt der Seilrutsche viel kleiner ist als deren Länge, wird in dieser Rechnung zunächst die Neigung des Drahtseiles vernachlässigt. Des Weiteren wird vernachlässigt, dass das Drahtseil selbst eine Masse hat. Es wird zudem davon ausgegangen, dass der Teilnehmer während der Fahrt nicht weiter aktiv nach links und/oder rechts schaukelt. Der Start des Teilnehmers vollzieht sich so, dass er mit gespanntem Verbindungsmittel links oder rechts vom Trageil stehend einen Schritt nach vorne vornimmt und nicht zusätzlich nach links oder rechts springt.

Zunächst ist der Durchhang der Seilrutsche in Abhängigkeit von der Position des Teilnehmers zu berechnen.

(Nebenbei: Die unten gebrauchte Formel ist eine einfache Approximation des Durchhanges beim Befahren der Seilrutsche. Der Durchhang wird durch eine Gerade approximiert. Da jedoch der reale Durchhang vor allem in der Nähe der Anschlagpunkte größer ist, als der durch eine einfache Gerade approximierte, wird diese Tatsache in der Formel dadurch berücksichtigt, dass ein zusätzlicher Durchhang am Anschlagpunkt von 1 m einberechnet wird. Dieser zusätzlich angenommene Durchhang reduziert sich sukzessive bis auf den Wert 0 m in der Mitte der Seilrutsche und steigt dann wieder bis auf den Wert 1 m an der Anlandestation an.)

$$y(s) = s \cdot (y_{\max} - 1) / (s_{\max}/2) + 1 \quad \text{für } s [0; s_{\max}/2)$$

$$y(s) = (s_{\max} - s) \cdot (y_{\max} - 1) / (s_{\max}/2) + 1 \quad \text{für } s [s_{\max}/2; s_{\max}]$$

Unter der Annahme, dass das Drahtseil maximal so weit ausschwingt, wie der Teilnehmer ganz am Beginn seiner Fahrt (β), errechnet sich der seitlich notwendige Freiraum für das Drahtseil $w(s)$ zu:

$$w(s) = (s \cdot (y_{\max} - 1) / (s_{\max}/2) + 1) \cdot \sin \beta \quad \text{für } s [0; s_{\max}/2)$$

$$w(s) = ((s_{\max} - s) \cdot (y_{\max} - 1) / (s_{\max}/2) + 1) \cdot \sin \beta \quad \text{für } s [s_{\max}/2; s_{\max}]$$

Der gesamte minimal benötigte Freiraum $x(s)$ setzt sich ergo aus der Schaukelbewegung des Teilnehmers um einen fixen Punkt

$$z(AD, AF, \beta) = (AD + AF) * \sin \beta$$

und dem sich ändernden Durchhang bei der Fahrt der Seilrutsche

$$w(s) = (s * (y_{\max} - 1) / (s_{\max}/2) + 1) * \sin \beta \quad \text{für } s [0; s_{\max}/2)$$

$$w(s) = ((s_{\max} - s) * (y_{\max} - 1) / (s_{\max}/2) + 1) * \sin \beta \quad \text{für } s [s_{\max}/2; s_{\max}]$$

zusammen.

Insgesamt ergeben sich in diesem Modell folgende Formeln für den insgesamt minimal benötigten Freiraum $x(s)$ nach links und rechts:

$$x(s) = ((s * (y_{\max} - 1) / (s_{\max}/2) + 1) + (AD + AF)) * \sin \beta \quad \text{für } s [0; s_{\max}/2)$$

$$x(s) = (((s_{\max} - s) * (y_{\max} - 1) / (s_{\max}/2) + 1) + (AD + AF)) * \sin \beta \quad \text{für } s [s_{\max}/2; s_{\max}]$$

Beispiel:

AD (Länge Verbindungsmittel) = 1 m (Meterstab!)

AF (Abstand Anschlagpunkt Gurt-Fußspitze) = 1,2m (Meterstab!)

β (Winkel Verbindungsmittel-Lot) = 30° (Winkelmesser!)

s_{\max} (Lichte Weite der Seilrutsche) = 60 m (elektronischer Entfernungsmessung oder Rollmaß!)

y_{\max} (Durchhang in der Mitte der Seilrutsche) = 3 m

(Tipp, um den maximalen Durchhang zu ermitteln: Eine Person befindet sich hängend in der Mitte der Seilrutsche. Eine zweite Person befindet sich auf der Startplattform. Die Person in der Mitte der Seilrutsche schiebt nun eine Dachlatte oder eine sonstige leichte Stange senkrecht nach oben. Die zweite Person signalisiert, wenn das obere Ende der Dachlatte oder Stange den Blickstrahl der zweiten Person trifft, welcher vom Anschlagpunkt des Drahtseiles der Startplattform bis zum Anschlagpunkt des Drahtseiles der Zielplattform zielt. Die Distanz von der Spitze der Dachlatte bis zum Drahtseil ist approximiert der (maximale) Durchhang in der Seilrutschenmitte für die Masse des Seilrutschers.

Fragen:

Wie groß muss der Freiraum nach links und rechts nach 10 m Fahrt sein?

Wie groß muss der Freiraum nach links und rechts in der Mitte der Seilrutsche ($s_{\max} / 2$) sein?

Wie groß muss der Freiraum nach links und rechts nach 40 m Fahrt sein?

$$x(10) = ((s * (y_{\max} - 1) / (s_{\max}/2) + 1) + (AD + AF)) * \sin \beta \quad \text{für } s [0; s_{\max}/2)$$

$$x(10) = ((10 \text{ m} * (3 \text{ m} - 1 \text{ m}) / 30 \text{ m}) + 1 \text{ m}) + (1 \text{ m} + 1,2 \text{ m}) * \sin 30^\circ = 1,93 \text{ m}$$

$$x(30) = ((s * (y_{\max} - 1) / (s_{\max}/2) + 1) + (AD + AF)) * \sin \beta \quad \text{für } s [0; s_{\max}/2)$$

$$x(30) = ((30 \text{ m} * (3 \text{ m} - 1 \text{ m}) / 30 \text{ m}) + 1 \text{ m}) + (1 \text{ m} + 1,2 \text{ m}) * \sin 30^\circ = 2,6 \text{ m}$$

$$x(40) = (((s_{\max} - s) * (y_{\max} - 1) / (s_{\max} / 2) + 1) + (AD + AF)) * \sin \beta \quad \text{für } s [s_{\max} / 2; s_{\max}]$$

$$x(40) = (((60 \text{ m} - 40 \text{ m}) * (3 \text{ m} - 1 \text{ m}) / 30 \text{ m} + 1 \text{ m}) + (1 \text{ m} + 1,2 \text{ m})) * \sin 30^\circ = 2,26 \text{ m}$$

Die oben angeführte Rechnung ist ein einfaches Modell, um den minimal benötigten Freiraum bei Seilrutschen einer lichten Weite von bis ca. 100 Meter abzuschätzen, falls der Teilnehmer nicht direkt unterhalb des Tragseiles, sondern um eine bestimmte Distanz seitlich versetzt startet. Ob dieses Modell die Wirklichkeit hinreichend abbildet, ist noch nicht bekannt. Hierzu müssen Versuche durchgeführt werden, welche gegebenenfalls mit der Gefahr von Anprallverletzungen des Rutschenden verbunden sein können. Alle Personen, welche entsprechende Versuche durchführen, vollziehen dies selbstverständlich in Eigenverantwortung. Die SSKA bzw. der Autor freuen sich über Rückmeldungen. Vielen Dank!

Dieter Stopper, 31.01.2020, ergänzt am 28.01.2021, ergänzt am 18.11.2021

www.siska.at, www.alpingutachten.de